

PAT-NO: JP403211449A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 03211449 A

TITLE: MEASURING INSTRUMENT FOR THERMAL  
EXPANSION QUANTITY OF  
SEMICONDUCTOR INTEGRATED CIRCUIT

PUBN-DATE: September 17, 1991

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

FUJITA, KAZUHIKO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

BROTHER IND LTD

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP02007494

APPL-DATE: January 17, 1990

INT-CL (IPC): G01N025/16

US-CL-CURRENT: 374/55

ABSTRACT:

PURPOSE: To take a measurement fast with high accuracy without

contacting by  
operating an LSI for measurement electrically and causing thermal  
expansion,  
and measuring displacement due to the thermal expansion by a heterodyne  
measuring means.

CONSTITUTION: The LSI for measurement can be moved by a moving  
means such as  
a table for X-, Y-, and Z-axial position movement control and is fitted to a  
fixed base such as a socket with an electric contacting function, and an LSI  
driving control part which is controlled by a computer operates the LSI  
electrically to control a signal current through the electric contacting  
function, thereby causing the thermal expansion on the LSI. Further, a  
heterodyne interference optical system measures surface information on the  
displacement or unevenness of the LSI surface due to the thermal expansion  
by  
using laser light and a light signal is converted into an electric signal,  
which is inputted to the computer through an electric signal processing  
circuit; and a computer processes measurement data and outputs the result to  
a  
data display part.

COPYRIGHT: (C)1991,JPO&Japio

## ⑫ 公開特許公報(A) 平3-211449

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成3年(1991)9月17日

G 01 N 25/16

E

8310-2G

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全12頁)

⑭ 発明の名称 半導体集積回路の熱膨脹量測定装置

⑯ 特 願 平2-7494

⑰ 出 願 平2(1990)1月17日

⑱ 発 明 者 藤 田 一 彦 愛知県名古屋市瑞穂区堀田通9丁目35番地 ブラザー工業株式会社内

⑲ 出 願 人 ブラザー工業株式会社 愛知県名古屋市瑞穂区苗代町15番1号

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

半導体集積回路の熱膨脹量測定装置

## 2. 特許請求の範囲

1. 半導体集積回路の各通電線に対して信号電流を流す電気的接触手段と、

同半導体集積回路を電気的に動作させ、上記電気的接触手段を通して信号電流を制御する駆動制御手段と、

上記電流により生ずる半導体集積回路上の熱膨脹による変位を測定するヘテロダイン測定手段と、を備えていることを特徴とする半導体集積回路の熱膨脹量測定装置。

## 3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は、半導体集積回路等の通電動作時に発熱により生ずる熱膨脹、そり等の熱変形等を測定する熱膨脹測定装置に関するものである。

[従来技術]

従来、半導体集積回路(LSI)の通電時にど

れだけ熱膨脹が生じているか、どれだけの熱変形が生じているかを高速に簡便に測定する良い方法はなく、例えば接触式の変位計で直接測定するか、発熱量を放射温度計で温度を測定し、半導体集積回路の内部の温度勾配を仮定し、また半導体集積回路の形状から境界条件を設定することにより、各部位での変位を計算により求める等の間接的な方法しか存在しなかった。

[発明が解決しようとする課題]

しかしながら、従来の変位計等で半導体集積回路の熱膨脹を測定することは、半導体集積回路上の微小な領域を指定することが困難であるため、精密には不可能であった。

また、放射温度計により半導体集積回路に存在している温度分布を測定することによって発熱量を求め、熱伝導方程式を作り、そこから、熱流を計算し、熱膨脹による熱変形を推定する方法は、直接変位量を測定しているわけではないので、熱膨脹量の正しい値を与えているとは言えなかった。

本発明は、上述した問題点を解決するためにな

されたものであり、半導体集積回路上に発生する通電時における熱膨脹或いは熱収縮により生ずるそり、歪み等の変位量或いは半導体集積回路に発生している変形の様子等を迅速に且つ精密に測定する装置を提供することである。

〔課題を解決するための手段〕

この目的を達成するために本発明の半導体集積回路の熱膨脹量測定装置は、対物レンズを通して半導体集積回路上の微小領域に光を集光させ、その領域表面からの反射光を利用して、半導体集積回路の通電動作時において生ずる熱膨脹量或いは熱収縮量を測定する装置において、

- a) 前記対物レンズ及び測定用の半導体集積回路の少なくとも一方を光軸方向において駆動することにより、対物レンズと半導体集積回路との相互間隔を変化させ得る駆動手段と、
- b) 前記半導体集積回路が載置されている部分を光軸に対して垂直な方向において駆動することにより、半導体集積回路上の任意の

方向駆動手段及び半導体集積回路を固定するための部材が載置されたまま、平面上の任意の位置へ移動し、測定光を半導体集積回路上の任意の位置へ照射する作用をする。

半導体集積回路用の駆動制御手段は、上記位置移動手段により測定位置が決定後、半導体集積回路に電源を供給し、入力信号を与えることで、半導体集積回路上の特定の位置に熱膨脹を起こさせる作用をし、ヘテロダイン干渉光学手段は、上記手段により生じている半導体集積回路上の熱膨脹による変位を極めて高精度で測定する。

〔実施例〕

以下、本発明を具体化した一実施例を図面を参照して説明する。

第1図には基本的な機能ブロック図を示す。以下、第1図の説明をする。

測定用の半導体集積回路が、電気的接触機能をもったソケット等の固定台に取り付けられ、これらはコンピュータから制御された半導体試料用の電源及び各種信号制御回路により電気的に制御さ

位置での熱膨脹を測定可能ならしめる位置駆動手段と、

- c) 前記半導体集積回路に通電し、各種の電気信号を入力し、半導体集積回路を電気的に動作させることにより、半導体集積回路上に熱膨脹を発生させる半導体集積回路用の駆動制御手段と、
- d) 前記半導体集積回路上に発生する熱膨脹による変位を測定するためのヘテロダイン干渉測定手段

とを備えている。

〔作用〕

上記の構成を有する本発明の熱膨脹量測定装置によれば、光軸方向駆動手段により、半導体集積回路表面からの反射光が平面波となるように対物レンズと半導体集積回路との相互間隔が変化させられるので、半導体集積回路の表面は、上記対物レンズの焦点位置即ち、ビームウエスト内に位置させられる。

光軸に垂直な平面方向の位置駆動手段は、光軸

れるようになっている。更に該半導体集積回路固定部は、X、Y、Z軸の位置移動制御用のテーブル等の移動手段により、自由に移動できるようになっている。

また、これらの位置移動手段は、コンピュータから位置制御されている。半導体集積回路は、第2図に示すような光学系によって、変位或いは表面上の凹凸等の表面情報をレーザ光を用いることで測定される。測定は、光信号を電気信号に変換し、信号処理回路を通じてコンピュータへ入力され、コンピュータは、付属のROM、RAMを用いて測定データを処理し、最終的にCRT等のデータ表示部に出力するようになっている。以上が第1図におけるブロック図の概略である。

次に光学系の部分について第2図を中心に述べる。

第2図において、レーザ光源(10)から出力された直線偏光のレーザ光には、アイソレータ(12)を経て偏光ビームスプリッタ(14)へ到達し、第2図の紙面に平行な振動面を有するP

偏光と第2図の紙面に直角な振動面を有するS偏光とに分割される。この時上記レーザ光の振動面は、第1図の紙面に対して $45^\circ$ 傾斜させられる。

上記P偏光は、上記レーザ光と同じ周波数 $f_0$ を有し、ミラー16に反射され且つ偏光ビームスプリッタ(18)を通過させられる。また上記S偏光は、ミラー(20)により反射された後、音響光学変調器(22)及び(24)を通過させられて周波数 $+f_1$ 及び $-f_2$ のシフトを受けることにより周波数 $f_0 + f_1 - f_2$ とされ、その後、偏光ビームスプリッタ(18)に入射する。この偏光ビームスプリッタ(18)において、上記周波数シフトを受けたS偏光の光束と上記P偏光の光束とが重ね合わされた後、無偏光ビームスプリッタ(26)において2分される。

上記無偏光ビームスプリッタ(26)により反射された光は、偏光軸を $45^\circ$ 傾斜させて配設された偏光子(28)を通過させられることにより、P偏光及びS偏光の相互干渉した光、即ち基準ビート周波数 $f_B = (-|f_1 - f_2|)$ を有する

基準ビート光が基準ビート光センサ(30)により検出される。このため、周波数 $f_B$ の基準ビート信号 $S_{f_B}$ が基準ビート光センサ(30)から出力される。無偏光ビームスプリッタ(26)を通過した光は、無偏光ビームスプリッタ(32)において更に2分される。以下、無偏光ビームスプリッタ(32)を通過した光束を第1の光束と言い、無偏光ビームスプリッタ(32)により反射された光束を第2の光束と言う。

上記第1の光束は、半導体集積回路(34)の表面(反射面)、対物レンズ(36)と一体的に配設されたミラー(38)、対物レンズ(36)の上方に配置された偏光ビームスプリッタ(40)等により構成された第1のヘテロダイン干渉系に入射させられる。

また、上記第2の光束は、対物レンズ(36)と一体的に配設されたミラー(42)、位置固定のミラー(44)、偏光ビームスプリッタ(46)などにより構成された第2のヘテロダイン干渉光学系に入射させられる。

上記第1のヘテロダイン干渉光学系において、周波数 $f_0$ のP偏光と周波数 $f_0 + f_1 - f_2$ のS偏光との合成波である第1の光束は、偏光ビームスプリッタ(40)により先ず分割される。偏光ビームスプリッタ(40)を通過したP偏光は、 $\lambda/4$ 板(50)を通過させられることにより円偏光に変換された後、対物レンズ(36)を通して半導体集積回路の表面に集光される。この半導体集積回路(34)の表面からの反射光は、上記対物レンズ(36)を経て $\lambda/4$ 板(50)を通過させられることにより、もとのP偏光に対して振動面が $90^\circ$ 回転した偏光、即ち、S偏光に変換されるので、偏光ビームスプリッタ(40)により反射され、偏光子(52)に到達する。上記半導体集積回路(34)の表面からの反射光は、該表面上のA $\phi$ 細線や保護膜などの凹凸による位相シフト及び散乱を受けている。

前記第1の高速のうち、偏光ビームスプリッタ(40)により反射されたS偏光は、位置固定のミラー(48)により反射されて $\lambda/4$ 板(50)

を通過させられることにより円偏光に変換された後、集光レンズ(54)を通してミラー(38)の表面に集光される。このミラー(38)からの反射光は、再び上記集光レンズ(54)を経て $\lambda/4$ 板(50)を通過させられることにより、もとのS偏光に対して振動面が $90^\circ$ 回転した偏光、即ち、P偏光に変換されるので、偏光ビームスプリッタ(40)を通過し、偏光子(52)に到達する。この偏光子(52)の偏光軸は上記S偏光及びP偏光の振動面よりも $45^\circ$ 傾斜させられているから、偏光子(52)を通過した光にはP偏光及びS偏光によるヘテロダイン干渉が発生し、この干渉光が第1計測ビート光センサ(56)により検出される。この第1計測ビート光センサ(56)は、複数個からなり、それぞれの位置から周波数が $f_w$ であって、わずかにそれらの信号間に位相差が生じている信号 $S_{f_{wA}}$ 、 $S_{f_{wB}}$ 、 $S_{f_{wC}}$ 、 $S_{f_{wD}}$ 、 $S_{f_{wE}}$ が出力される。これらの信号は、半導体集積回路の表面から反射された反射光の波面を測定するのに用いられる。

前記第2のヘテロダイン干渉光学系において、周波数 $f_0$ のP偏光と周波数 $f_0 + f_1 - f_2$ のS偏光との合成波である第2の光束は、ミラー(33)により反射された後、偏光ビームスプリッタ(46)により先ず分割される。偏光ビームスプリッタ(46)を通過したP偏光は、 $\lambda/4$ 板(58)を通過させられることにより円偏光に変換された後、集光レンズ(60)を通してミラー(42)の表面に集光される。このミラー(42)からの反射光は、上記集光レンズ(60)を経て $\lambda/4$ 板(58)を再び通過させられることにより、もとのP偏光に対して振動面が $90^\circ$ 回転した偏光、即ち、S偏光に変換されるので、偏光ビームスプリッタ(46)により反射され、偏光子(62)に到達する。

一方、偏光ビームスプリッタ(46)により反射されたS偏光は、 $\lambda/4$ 板(64)を通過させられることにより円偏光に変換された後、集光レンズ(66)を通して位置固定のミラー(44)の表面に集光される。このミラー(44)からの

反射光は、再び上記集光レンズ(66)により、もとのS偏光に対して振動面が $90^\circ$ 回転した偏光、即ち、P偏光に変換されるので、偏光ビームスプリッタ(46)を通過し、偏光子(62)に到達する。この偏光子(62)の偏光軸は上記S偏光及びP偏光の振動面よりも $45^\circ$ 傾斜させられているから、偏光子(62)を通過した光にはP偏光及びS偏光によるヘテロダイン干渉が発生し、この干渉光が第2計測ビート光センサ(68)により検出され、周波数が $f_D$ の第2計測ビート信号 $S f_D$ が出力される。

前記対物レンズ(36)は、レンズアクチュエータ(70)によって光軸方向へ位置決めされるようになっている。即ち、位置固定の機構(72)には、光束を通過させるための貫通穴(73)、(74)、(75)が形成されており、中央の貫通穴(74)と同心に円筒状のレンズアクチュエータ(70)が吊り下げられるとともに、このレンズアクチュエータ(70)の下端部に対物レンズ(36)を保持するレンズ保持筒(78)が

固定されている。レンズアクチュエータ(70)は、本実施例では対物レンズ(36)と半導体集積回路試料(34)との相互間隔を変化させる駆動装置を構成するものであり、例えば軸方向に収縮可能な圧電セラミックにより構成されており、印加電圧に対応した収縮量に関連して対物レンズ(36)が位置決めされるようになっている。また、前記ミラー(38)及び(42)は、上記レンズ保持筒(78)に固定されており、対物レンズ(36)と一体的に軸方向へ移動させられるようになっている。

前記測定用半導体集積回路(34)は、対物レンズ(36)の光軸方向及びその光軸と直角な方向へ駆動されるようになっている。即ち、防振台等の基台(88)上において、第3図に示す案内装置により水平方向(X方向)へ案内される水平方向移動テーブル(84)は、例えば、パルスモータ或いはピエゾアクチュエータ等により構成される微小駆動可能な水平方向駆動装置(85)により水平方向に位置決めされるようになっており、

その水平方向移動テーブル(84)上には、垂直方向(Z方向)へ案内される電気接触部材(80)が垂直方向駆動テーブル(82)によって垂直方向に位置決めされるようになっている。また、上記垂直方向駆動装置(83)は、例えばパルスモータ等を含むものであり、前記レンズアクチュエータ(70)による対物レンズ(36)の移動距離よりも大きい距離で電氣的接触部材(80)を駆動することができるようになっている。更に前述した水平方向駆動テーブル(84)及び垂直方向駆動テーブル(82)は、水平方向(X方向)面内でX方向に垂直な方向(Y方向)に移動するための水平方向(Y方向)移動テーブル(86)上に載置されており、水平Y方向移動テーブル(86)は、例えばパルスモータ或いはピエゾアクチュエータ等により構成される微小駆動可能な水平方向(Y方向)駆動装置(87)により、水平方向(Y方向)に位置決めされるようになっている。尚、上記水平方向(X方向)駆動装置(85)、及び水平方向(Y方向)駆動装置(87)

には、図示しないが、X方向、Y方向の移動量を検出するための位置検出器がそれぞれ設けられている。この位置検出装置は、ロータリエンコーダ、或いは一般に知られている光学式の位置検出器または測長器等により構成される。

上記のように光学的に構成された光波干渉型の半導体熱膨張量測定装置には、例えば第4図に示す測定制御回路が設けられている。光センサー(56)は第5図に示すような5個の受光素子56A、56B、56C、56D、56Eから構成されており、その各々のセンサーから出力された第1計測ビート信号 $Sf_{wA}$ 、 $Sf_{wB}$ 、 $Sf_{wC}$ 、 $Sf_{wD}$ 、 $Sf_{wE}$ は、第4図に示す増幅器90A、90B、90C、90D、90Eにおいて信号増幅された後、波形モニタ回路(92)へそれぞれ供給される。

波形モニタ回路(92)は、第1計測ビート光センサ(56)へ到達している光束の状態から平面波であるか或いは発散球面波または収束球面波であるかを判定するものであり、その判定結

果を表す信号を後述のデータバスライン(102)へ出力するとともに、第1測定ビート周波数 $f_w$ の信号を位相差検出回路(106)へ出力する。

以下、波形モニタ回路について詳しく述べることにする。

波形モニタ回路92は例えば第6図に示すように構成されている。即ち、一方のデジタル位相差検出回路94は、垂直方向に配列されている受光素子56B及び56Cからのビート信号 $Sf_{wB}$ 及び $Sf_{wC}$ の位相差 $\Delta\theta_{CB}$ (例えばビート信号 $Sf_{wC}$ のピーク位置の位相角を $\theta_C$ とし、ビート信号 $Sf_{wB}$ のピーク位置の位相角を $\theta_B$ とすると、 $\Delta\theta_{CB} = \theta_C - \theta_B$ )を検出して減算器98へ出力する一方、他方のデジタル位相差検出回路96は、垂直方向に配列されている受光素子56D及び56Cからのビート信号 $Sf_{wD}$ 及び $Sf_{wC}$ の位相差 $\Delta\theta_{DC}$ (例えばビート信号 $Sf_{wC}$ のピーク位置の位相角を $\theta_C$ とし、ビート信号 $Sf_{wD}$ のピーク位置の位相角を $\theta_D$ とすると、 $\Delta\theta_{DC} = \theta_D - \theta_C$ )を検出して減算器

98へ出力する。そして、減算器98は、上記位相差 $\Delta\theta_{CB}$ から位相差 $\Delta\theta_{DC}$ を減算し、減算値( $\Delta\theta_{CB} - \Delta\theta_{DC}$ )を出力する。

第1計測ビート光センサ56へ到達している光束が平面波であれば、第7図に示すように3つの受光素子56B、56C、56Dの出力信号の位相が同じとなる。また、第1計測ビート光センサ56が傾いていたとしても、第8図に示すように、受光素子56Cの上に位置する受光素子56Bの出力信号 $Sf_{wB}$ 、及び受光素子56Cの下に位置する受光素子56Dの出力信号 $Sf_{wD}$ の、中心に位置する受光素子56Cの出力信号 $Sf_{wC}$ に対する位相が、それぞれ同じ量だけ前後方向、即ち前記 $\Delta\theta_{CB}$ 及び $\Delta\theta_{DC}$ が正方向にずれる。例えば第8図において、出力信号 $Sf_{wC}$ に対する出力信号 $Sf_{wB}$ の位相のずれ $\Delta\theta_{CB}$ ( $=\theta_C - \theta_B$ 、正の値)と、出力信号 $Sf_{wC}$ に対する出力信号 $Sf_{wD}$ の位相のずれ $\Delta\theta_{DC}$ ( $=\theta_D - \theta_C$ 、正の値)とが、互いに等しくなる( $\Delta\theta_{CB} = \Delta\theta_{DC}$ )。しかし、第1計測ビート光

センサ56へ到達している光束が収束球面波であれば、例えば第9図に示すように、受光素子56B及び56Dの出力信号 $Sf_{wB}$ 及び $Sf_{wD}$ の位相が、受光素子56Cの出力信号 $Sf_{wC}$ に対する出力信号 $Sf_{wD}$ の位相のずれ $\Delta\theta_{DC}$ ( $=\theta_D - \theta_C$ )が負の値となる。反対に、第1計測ビート光センサ56へ到達している光束が発散球面波であれば、出力信号 $Sf_{wB}$ 及び $Sf_{wD}$ の位相が出力信号 $Sf_{wC}$ に対して共に遅れるので、出力信号 $Sf_{wC}$ に対する出力信号 $Sf_{wB}$ の位相のずれ $\Delta\theta_{CB}$ ( $=\theta_C - \theta_B$ )が負の値となる。従って、上記出力信号 $Sf_{wC}$ に対する出力信号 $Sf_{wB}$ の位相ずれ $\Delta\theta_{CB}$ と出力信号 $Sf_{wC}$ に対する出力信号 $Sf_{wD}$ の位相のずれ $\Delta\theta_{DC}$ との減算値( $\Delta\theta_{CB} - \Delta\theta_{DC}$ )は、平面波となるほど零に近い値となる。

第6図の比較判定回路100は、設定器140において予め設定された判断基準範囲(零を含む基準範囲を示す上限値(正の値)及び下限値(負の値))と減算器98の出力信号と比較し、減算

器98の出力値( $\Delta\theta_{cB} - \Delta\theta_{Dc}$ )が判断基準範囲内であるときには平面波であると判定し、減算器98の出力値が判断基準範囲の上限値よりも大であるときには収束球面波であると判定し、出力値が判断基準範囲の下限値よりも小であれば、発散球面波であると判定する。そして、比較判定回路100は、平面波、収束球面波、発散球面波のいずれであるか、或いはそれに加えてどの程度の曲率をもつ球面波であるかの判断結果を表す信号をデータバスライン102へ出力する。尚、上記設定器140において予め設定された判断基準範囲を示す上限値及び下限値は、例えば、半導体集積回路34の表面がビームウエスト位置BWから2分の1波長ずれたときの値、またはそれより所定量小さい値とされている。

ここで、第1計測ビート光センサ56に伝播した光束の波面状態は、対物レンズ36の焦点位置と被測定部材34の表面との間の相対位置関係を表している。即ち、第8図に示すように、半導体集積回路34の表面が対物レンズ36により集光

される光束の最もくびれた部分、換言すれば光束のビームウエスト位置BWに位置している場合には、その表面から反射される光束は、平面波となる。しかし、半導体集積回路34の表面が対物レンズ36から離隔する側へ上記光束のビームウエスト位置BWからずれた場合には、第1計測ビート光センサ56に伝播した光束は収束球面波となる。反対に、半導体集積回路34の表面が対物レンズ36に接近する側へ上記光束のビームウエスト位置BWからずれた場合には、第1計測ビート光センサ56に伝播した光束は発散球面波となる。

そこで、こうした波面状態の変化を位相差検出回路(94)、(96)を用い検出することで、常に半導体集積回路(34)と対物レンズ(36)の相対距離が一定になるように測定条件を制御する。その上で半導体集積回路に通電し、熱膨脹を発生させ、その微小変位を実時間で第2のヘテロダイン干渉光学系により測定するのである。

即ち、第1のヘテロダイン光学系において、半導体集積回路(34)により反射され、且つ複散

の検出器である第1計測ビート光センサ(56)に到達した光束が平面波となるように初期位相差 $D_i$ を決定し、この初期位相差 $D_i$ が維持されるように、レンズアクチュエータ(70)によって対物レンズ(36)との距離が制御され、対物レンズ(36)により集光される光束のビームウエスト位置BWに半導体集積回路試料(34)の表面が常時一致するように制御される。このように対物レンズ(36)のビームウエスト位置BWと半導体集積回路(34)の表面とが常時一致させられるという最適光学的相互位置状態となるように、対物レンズ(36)の位置決めが高精度に行われた後、レンズ保持筒(78)の変位 $Z$ が第2のヘテロダイン光学系によって検出される。これは測定ビート光センサ(68)で検出された信号 $S_{fd}$ は、基準ビート信号 $S_{fb}$ に対して位相のずれた信号となって観測できるからである。この両信号の位相差は、測定している半導体集積回路の特定の領域において通電したことにより生じた熱膨脹による変位により生じたものである。こ

の時、実際の変位と観測された位相差には次の関係がある。

$$Z = \frac{\lambda}{4\pi} [\Phi(t_1) - \Phi(t_0)]$$

即ち、時刻 $t = t_1$ と $t = t_0$ の時点でのそれぞれの基準ビート信号 $S_{fb}$ と測定ビート信号 $S_{fd}$ の間に観測された位相差 $\Phi(t_1)$ と $\Phi(t_0)$ の差が、 $t = t_0$ から $t = t_1$ までに変化した量になる。

従って、半導体集積回路が通電による発熱のために熱膨脹をし続けられ、それに応じて測定ビート光信号 $S_{fd}$ と基準ビート光信号間に存在する位相は変化していくことになるので、その位相を第4図に示す信号処理回路を用いて測定する。基準ビート光信号 $S_{fb}$ は、波形成回路104によりパルス波形に成形された後、位相差検出回路106へ供給されるとともに、インバータ(108)を経てアンド回路110へ供給される。上記位相差検出回路106は、受光素子56cから出力された周波数 $f_w$ の信号 $S_{fwc}$ と基準ビート光センサ(30)の出力信号 $S_{fb}$ との位相差 $D$



を検出し、この位相差 $D$ を表す信号をデータバスライン102へ出力する。半導体集積回路の表面上の膨脹により、前記第1計測ビート光センサ(56)へ到達した光束が平面波となるように調節することにより、対物レンズ(36)と半導体集積回路(34)の表面とが初期的に最適な光学位置とされたときに、上記位相差検出回路(106)により検出された位相差 $D$ は、初期位相差 $D_i$ と称される。

第2計測ビート光センサ(68)の出力信号 $S_{fd}$ は、波形成形回路(112)によりパルス波形に成形された後、上記アンド回路(110)へ供給される。アンド回路(110)は、基準ビート光センサ(30)の出力信号 $S_{fb}$ のパルス波形が例えば「0」であり且つ第2計測ビート光センサ(68)の出力信号 $S_{fd}$ のパルス波形が例えば「1」であるときには、高周波信号発生器(114)から出力される一定周波数のクロック信号をカウンタ(116)へ通過させて、そこで計数させる。このカウンタ(116)は、基準ビ

ート光センサ(30)の出力信号 $S_{fb}$ と第2計測ビート光センサ(68)の出力信号( $S_{fd}$ )との位相差に対応してクロック信号を計数し、位相差 $2\pi$ に対応する値に満了すると、満了信号を出力するとともに再び零から計数を開始する分周カウンタである。このカウンタ(116)は $2\pi$ 以下の位相差 $\phi$ を表す計数値を所定時間毎にラッチ回路(118)に一時記憶させ、ラッチ回路(118)は必要に応じて位相差を表す信号をデータバスライン(102)へ出力する。またカウンタ(120)は、上記カウンタ(116)の計数値が位相差 $2\pi$ に相当する値となったときに出力される満了信号を計数し、 $2\pi$ 単位の位相差を表す計数値 $N$ を所定時間毎にラッチ回路(122)に一時記憶させるとともに、ラッチ回路(122)は必要に応じて計数値 $N$ を表す信号をデータバスライン(102)へ出力する。従って、上記ラッチ(118)及び(122)の出力信号により、基準ビート光センサ(30)の出力信号 $S_{fb}$ と第2計測ビート光センサ(68)の出力信号 $S_{fd}$

$\phi$ との実際の位相差 $\Phi(-2\pi N + \phi)$ が検出されるようになっている。

こうして第2のヘテロダイン光学系により得られた位相の変化は、半導体集積回路上の特定の場所で通電による発熱により生じた変位を正確に測定したものになっている。

以上述べてきたヘテロダイン干渉光学系を熱変位測定用の光プローブとして半導体集積回路に生じている熱膨脹量や熱変形について測定する方法について述べる。

第5図に示すフローチャートに基づいて説明すると、最初にX軸方向移動テーブル(84)及びY軸方向移動テーブル(86)を移動させ、半導体集積回路上の測定すべき位置を決定し、垂直方向移動ステージ(82)を移動させて、半導体集積回路表面(34)が対物レンズ(36)の焦点位置(BW)へ位置するように粗動調整する。次に波形モニタ回路によって半導体集積回路からの反射光が平面波となるように、ピエゾ駆動アクチュエータ(70)を駆動する。半導体集積回路表

面からの反射光が平面波になれば、対物レンズの焦点面位置に半導体集積回路が設置されたことになるので、この時に、第2のヘテロダイン光学系で初期位相値を決める。

次に半導体集積回路用駆動制御装置を動作させる。該半導体集積回路用駆動制御装置は、測定用の半導体集積回路に電源電圧を供給し、必要な信号を半導体集積回路に送信したり、特定の信号を送り取ったりする作用をし、これは、コンピュータから予め決められたプログラムで行うことができる制御装置である。該装置を動作させると、試料用の半導体集積回路は、内部で発生する熱により熱膨脹が起こり、測定光の反射される位置が変化してくる。そこで、この半導体集積回路の反射面からの反射光を常に受光し、第1のヘテロダイン干渉系で常に一定の平面波になるようにピエゾ駆動支持筒を移動させる。こうした状態を常に維持するようにフィードバックをかけて、第2のヘテロダイン干渉光学系によりピエゾ駆動支持筒の動きを測定し、最終的に半導体集積回路上に生ず

る熱膨脹量を測定することができる。測定は一定時間ごとに第2のヘテロダイン光学系で検出される位相差を高周波クロックで測定し、CRT等の表示装置に表示することで、半導体集積回路上に生じている熱膨脹による変位の時間変化を測定することができる。

この第1の測定法を用いると、半導体集積回路上の特定の部位における熱膨脹による変位を瞬時に測定することができるので、半導体集積回路のある領域でA/B細線の断線が生じていたりする場合には、その位置で観測される熱変位量が非常に小さいか或いはまったく観測されないなどの測定結果が得られる。従って、この第1の方法は、半導体集積回路の故障解析に用いることができる。

第2の実施例は、第1の実施例を応用し、半導体集積回路前面に生じている熱膨脹による熱変形を測定し表示する方法である。

この方法では必要に応じて、半導体集積回路前面の凹凸形状を通電以前に測定し、RAM上に記憶しておく。以下測定開始位置に半導体集積回路

ず、半導体集積回路に通電する以前に、半導体集積回路の全面或いは測定したい特定の領域の表面形状を測定し、RAMに記憶しておく。その後、半導体集積回路用駆動制御装置から半導体集積回路に通電し、必要な信号を出力した後、一定時間待つ。これは半導体集積回路が通電後熱的に平衡状態に達して安定するまで待つ必要があるためである。一定時間経過後、以前に測定した領域に関して表面形状を測定し、測定したデータをRAM上に記憶すると同時にCRT等の表示装置に三次元的に出力する。通電以前の半導体集積回路の三次元像に通電後の三次元像を色を変えて重ねて出力することで、半導体集積回路の通電時の発熱により生じた熱膨脹による変形が発生していれば、その変形の様子が三次元像から読み取ることが可能となる。こうした方法によって半導体集積回路上に発生している熱膨脹が詳しく測定できるので、半導体集積回路上に生じている変形量から、各部分に発生している応力の分布を推定することが可能である。

試料を位置させ、第1の熱膨脹測定法により熱変位を測定し、測定データをRAM上に記憶し、その後、半導体集積回路用駆動制御装置を停止し、一定時間経過後、予めプログラムされた測定位置へX軸テーブル、Y軸テーブルを移動させて、次の測定に入る。こうした方法を繰り返すことで、半導体集積回路全体における熱膨脹による時間変化を測定することができるので、全測定が終了後、任意の時間のRAM上に記憶したデータをCRT上に三次元的な情報を含めて表示することで、半導体集積回路全体に発生している熱膨脹により生じているそりや歪み等の変形量を測定することができる。この第2の方法を用いることで、半導体集積回路全体に発生している熱変形を測定できるので、半導体集積回路を接着しているパッケージにどれほどの応力が発生しているか等の情報が得られることになり、今後大型化し高集積化する半導体集積回路の熱による変形等の影響を詳細に調べる事が可能な測定法といえる。

次に第2の実施例の変形例について述べる。ま

また本実施例の別の応用例として、半導体集積回路の特定の部分に電気信号を送り、その部分の熱膨脹による熱変位量の時間変化の違いから、細線パターンに存在している接合面での欠陥不良等の場所を発見したり、断線が生じている場所を発見したり、測定場所における接合点の電気的な寿命の長短を推定したりするのに用いることも可能である。

#### 〔発明の効果〕

以上詳述したことから明らかなように、本発明によれば、被測定用の半導体集積回路上に測定光を集光し、該表面からの反射光をヘテロダイン干渉光学系に入射させ、測定光の波面をモニターし、常に一定の波面状態になるように、対物レンズと半導体集積回路表面の相互間隔を変化させることにより、半導体集積回路上に生ずる変位を測定する半導体集積回路用駆動制御装置により、測定用の半導体集積回路に電源電圧及び各種信号を入力することで、半導体集積回路上に熱が発生する現象を利用して、半導体集積回路に生じている熱膨

膜による熱変位を非接触でかつ高速に測定できる効果がある。

#### 4. 図面の簡単な説明

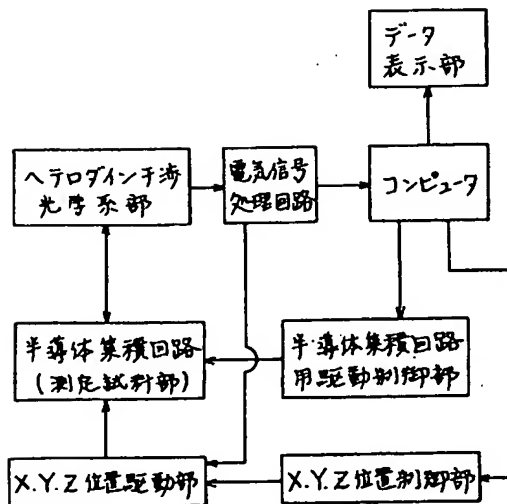
第1図から第6図までは本発明を具体化した実施例を示すもので、第1図はブロックダイアグラムを示す図、第2図はヘテロダイン干渉光学系の構成図、第3図はXYZ軸（三軸）移動テーブルの概略構成図、第4図は測定制御回路を示すブロック図、第5図は多分割光センサの概略構成図、第6図は位相差検出回路のブロック図、第7図から第9図までは、多分割光センサからの出力信号を説明する図、第10図は第1の実施例のフローチャート図、第11図は第2の実施例のフローチャート図である。

特 許 出 願 人

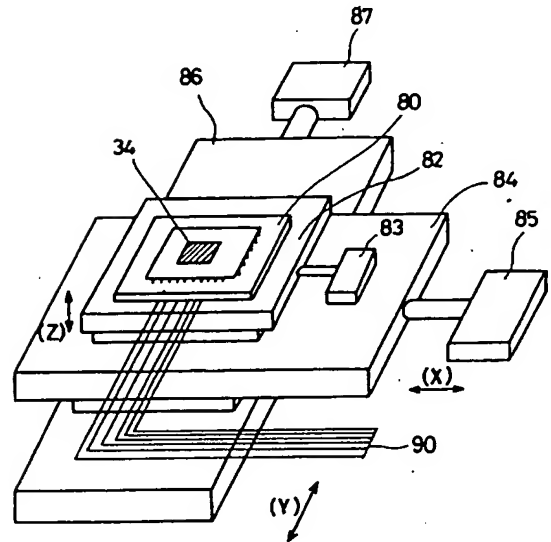
ブラザー工業株式会社

取締役社長 安井義博

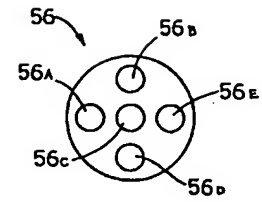
第1図



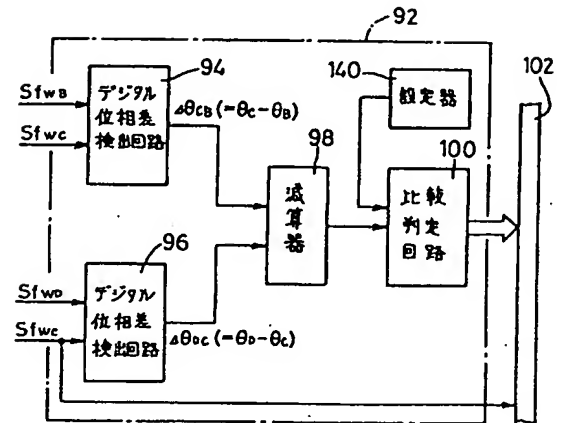
第3図



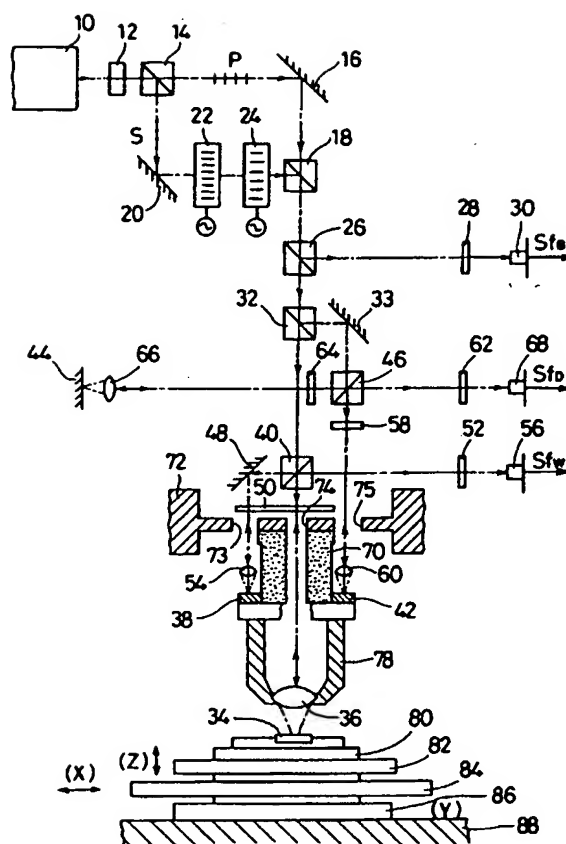
第5図



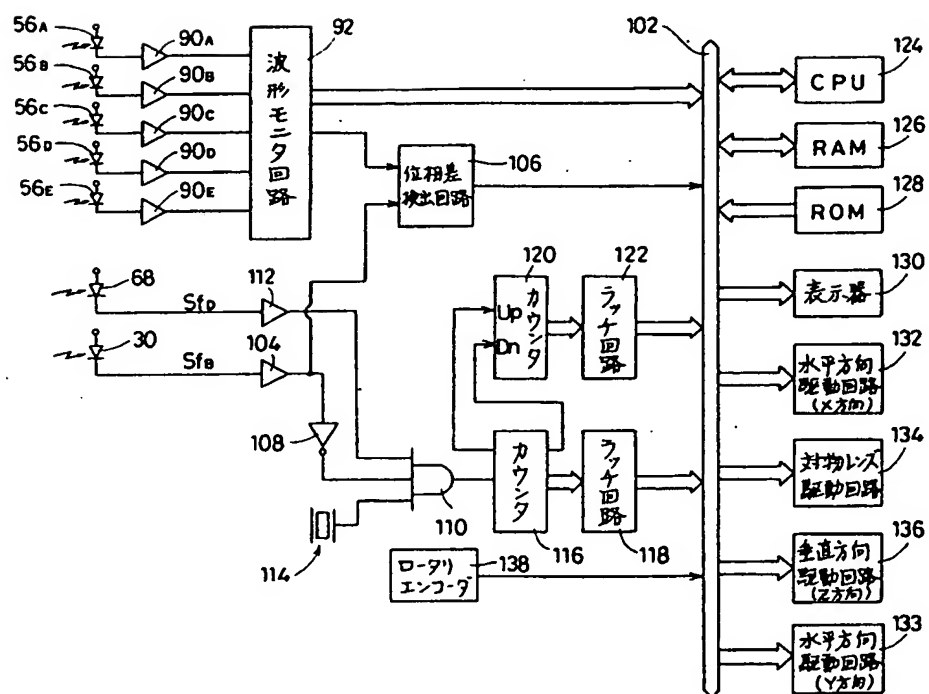
第6図



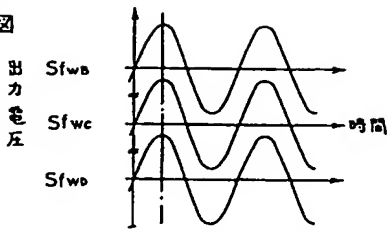
第2図



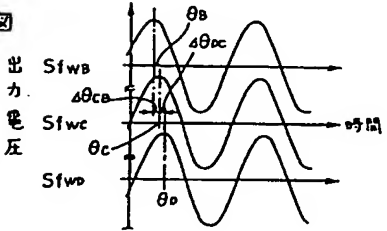
第4図



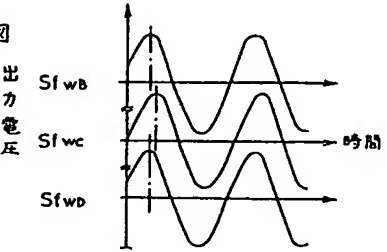
第7図



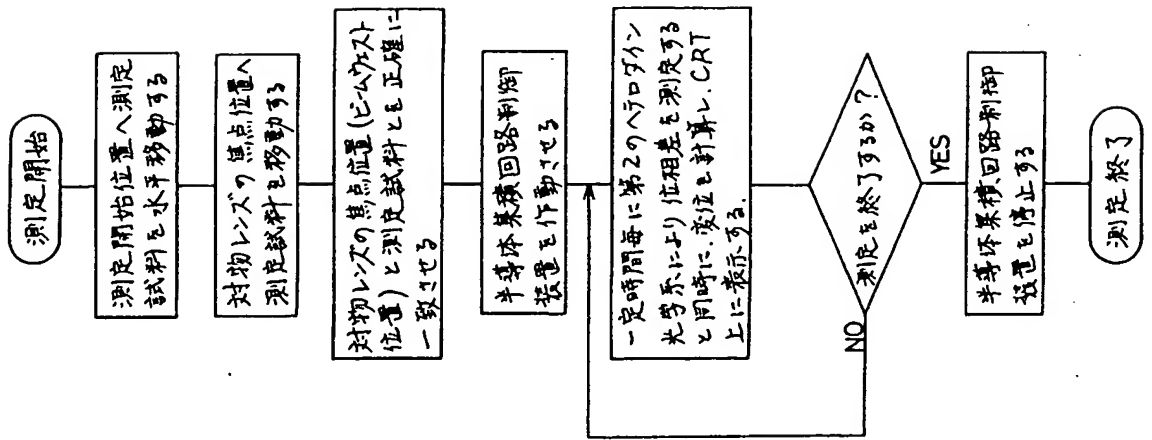
第8図



第9図



第10図



第11図

